

GYERGYÁK FERENC

## AZ ANALÓG SZÁMÍTÓGÉPES MODELLEZÉS MEGVALÓSÍTÁSA ÉS GYAKORLATI KIVITELEZÉSE

Abstract: Der Artikel erörtert in grossen Zügen den Aufbau und den Betrieb des Analogrechners.

Von der einfachsten Berechnungseinheit des Rechners begonnen bis zur Anpassung zum digitalen Rechner wird dem Betrieb auf der Spur gefolgt.

Auf die erörterte Weise kann der notwendige Rechner entsprechend den Ansprüchen auf fast sämtlichen Unterrichtsebenen mit einfachen und billigen Mitteln verwirklicht werden.

A tudományos technikai forradalom korában egyre nagyobb szerepet kap a természettudományos szemlélet kialakítása világszerte. A sokféle eszköz mellett ehhez a munkához segítséget nyújthatunk a természeti folyamatok és fizikai jelenségek modellezésével, ennek megvalósítását segítő analóg számítógépes modellezéssel kívánunk foglalkozni, ez a látszat ellenére igen könnyen elsajátítható, és legfőképpen a gyakorlatban egyszerű eszközökkel megvalósítható.

### Az analóg modellezésről általában

A magasabb szintű folyamatirányítás nélkülözhetetlen, az alacsonyabb szintű irányítási megoldásoknak bizonyos esetekben előnyös eszköze a számítógép. A számítógép, de különösen a digitális számítógép, az automatizálás igen magas szintjén valósul meg, és így érthető, hogy alkalmazására

azokon a területeken mutatkozott jól meghatározott igény, ahol szintén bonyolult automatikus rendszer megvalósítása volt a cél. Ilyen a folyamatirányítás is, amely számítógéppel és más számítástechnikai berendezésekkel igen magas szinten automatizálható.

A számítógépek kifejlesztésének egyik jelentős gazdasági mozgatója éppen az automatizálás rohamos elterjedése volt, hiszen a folyamatirányítás mellett a gépgyártási folyamatok, közlekedési eszközök, rakéták és katonai berendezések automatikus irányítása a korábbiakhoz képest minőségileg lényegesen többet nyújtó új megoldásokat és eszközöket követelt. Ennek a fejlődési folyamatnak viszont egy visszahatása abban nyilvánul meg, hogy amikor a korszerű számítástechnikai eszközök hozzáférhetővé váltak, ez előmozdította a folyamatirányítási (és más irányítási) feladatok korszerű megoldását is.

Amikor a folyamatirányítással kapcsolatban számítógépről beszélünk, tulajdonképpen csak a digitális számítógépre gondolunk annak ellenére, hogy elvileg analóg, hibrid számítógép is szóba jöhetne. Különösen az analóg számítógépnek volna nagy jelentősége, hiszen analóg technikával a folyamatok is éppen olyan folytonos jelensége, mint amilyenek az analóg gépben lejátszódnak.

Az analóg modellezés lényege: a vizsgált rendszert vagy annak egy részét olyan rendszerrel helyettesítjük, amelynek fizikai tulajdonságai hasonlóak az eredeti rendszer fizikai tulajdonságaihoz. Ekkor a modellen lejátszódó folyamatok hasonlóak az eredeti rendszerben lejátszódó folyamatokhoz.

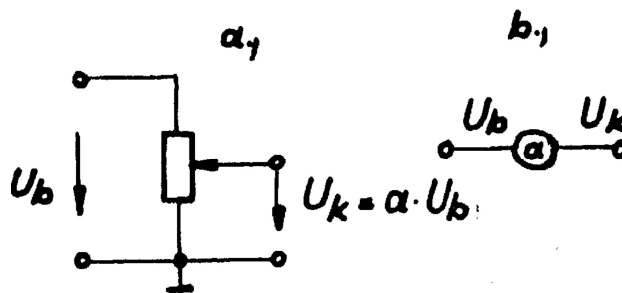
Az analóg modellezés elve szerint a természet fizikai rendszerei leképezhetők valamilyen más fizikai struktúrával rendelkező rendszerbe, amit fizikai modellrendszernek nevezünk. Az eredeti rendszer és a modell rendszere közötti összefüggés differenciál egyenletekkel -- jelátvivő tulajdonságok vizsgálatakor pedig átviteli függvényekkel -- írhatók le.

Mivel a különböző rendszerek ugyanolyan jellegű egyenletekkel írhatók le, ezért matematikai modellel egyformán leképezhetők. A matematikai modell, pedig nem hoz mást, mint a rendszer differenciál egyenletét és átviteli függvényét megvalósító analóg számítógép. Az analóg számítógépek folytonos, folyamatos villamos feszültségjeleket dolgoznak fel, a villamos feszültség időbeli lefolyását határozzák meg áramköreik -- számítógységei -- segítségével.

Az analóg számítógép alpműveletei az összeadás, integrálás, szorzás, osztás, de lehetséges összetettebb függvényeket megoldó rendszer kialakítása is. A műveletsornak megfelelő rendszert alapelemekből kell kialakítani és összehangolni. A jelfolyam minden egységben azonos időben zajlik és e rendszer egy-egy pontján oszcilloszkóp, rajzgép, műszer segítségével lehetséges a jelváltozás megfigyelése.

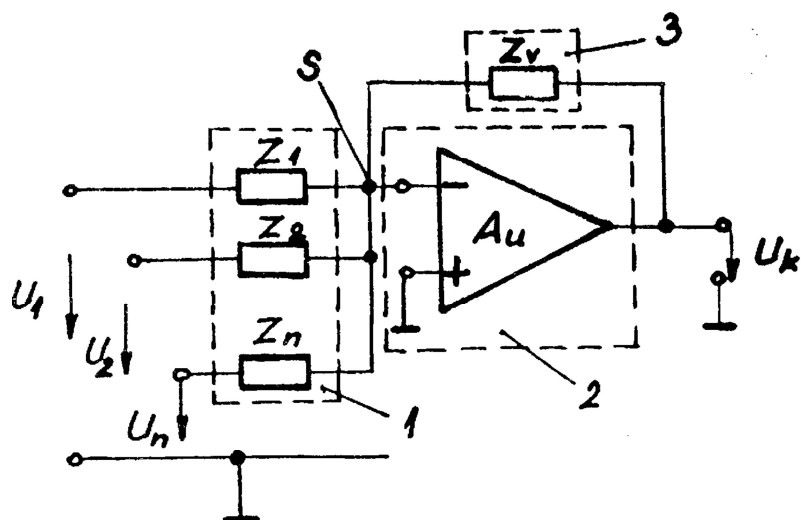
#### Az analóg számítógép alapelemei

A műveleti egységek közül az egyik fontos alapelem az együttható potenciométer, ami egynél kisebb pozitív állandóval való szorzást valósít meg. Kapcsolási vázlatát az 1a. ábra, szimbólikus jelölését az 1b. ábra szemléletei.



1. ábra

Analóg számítógépünk másik fontos egysége a műveleti erősítő. Segítségével előjelfordítás, egynél kisebb és/vagy nagyobb negatív állandóval való szorzás, összegzés, idő szerinti integrálás, valamint számos összetettebb művelet elvégezhető. Az analóg számítógép műveleti erősítőjének kapcsolási vázlata a 2. ábrán látható.



2. ábra

A műveleti erősítő alapegyenlete határozza meg, hogy milyen matematikai művelet elvégzésére alkalmas. Az alapegyenlet ideális műveleti erősítőre:

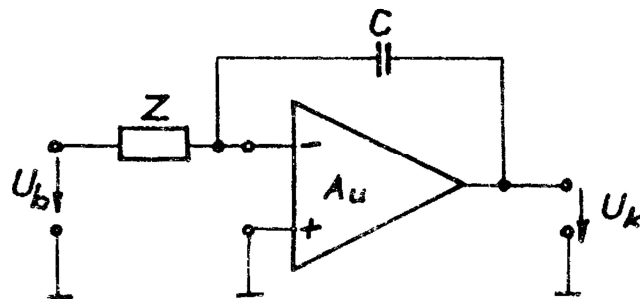
$$U_k = - Z_v \sum_{i=1}^n \frac{U_i}{Z_i}$$

Az alapegyenletből következik, hogy a kimenő feszültség és a bemenő feszültség közötti kapcsolat csak a visszacsatoló impedanciától és a mindenkor bemenő feszültséghez tartozó impedanciától függ. A tetszés szerinti állandóval való szorzás műveletet az együttható potenciométer és a műveleti erősítő együttes alkalmazásával érjük el, amikor is a műveleti erősítő visszacsatoló ágában R elem van beiktatva. A műveleti erősítőt integrátorként alkalmazhatjuk, ha visszacsatoló impedanciaként C elemet alkalmazunk.

Az ideális integrátor vázlatát a 3. ábrán láthatjuk, ahol a kimenő feszültség a bemenő feszültség idő szerinti integráljával arányos, és az arányossági tényező a  $T_i = R \cdot C$  integrálási időállandó.



$$U_k = - \frac{1}{T_i} \int U dt$$

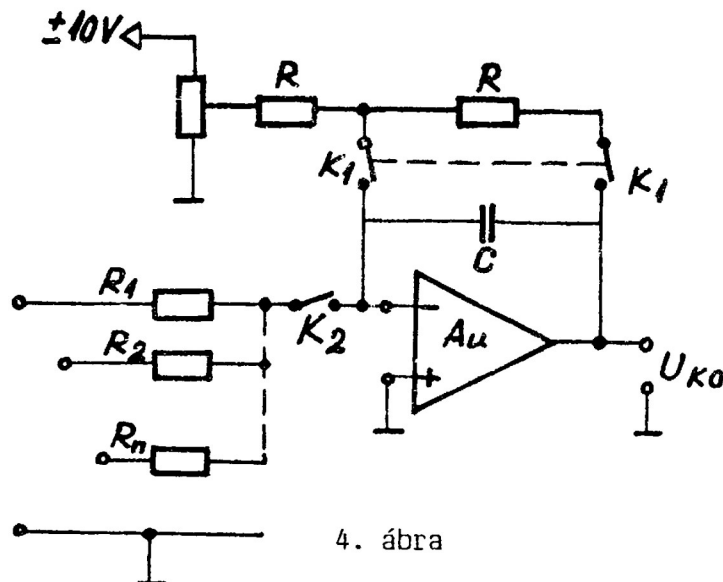


3. ábra

Az integrátorkapcsolást több bemenetű összegző integrátorként tekintve, valamint a differenciálegyenletek kezdeti feltételének megfelelően beadott kezdeti feszültséggel számolva, az alábbi összefüggés érvényes:

$$U_k = - \int (v_1 U_1 + c_2 U_2 + \dots + c_n U_n) dt + U_{k0}, \text{ ahol } c_n = \frac{1}{R_n \cdot C}$$

A kezdeti feltétel bállítása összegző integrátor esetében a következő módon végezhető (4. ábra).

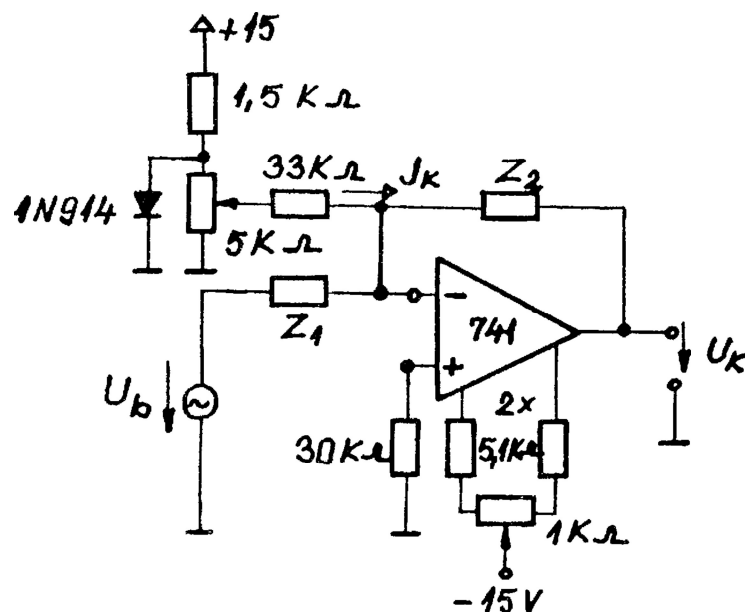


4. ábra

A gépi számítás kezdetéig a  $K_1$  kapcsoló zárt, a  $K_2$  nyitott. Az  $U_{ko}$  kezdeti feszültséget jelfordítóhoz hasonló kapcsolással kényszerítjük a kondenzátorra. A gépi számítás kezdetének pillanatában a  $K_1$  kapcsoló nyílik,  $K_2$  záródik. Ezzel a műveleti egység megkezdí az integrálást, a kimenő mennyiség  $U_{ko}$ -ról indul.

Az előbbiekben elmondtuk, hogy az összegezést és integrálást műveleti erősítővel valósítjuk meg. Ahhoz azonban, hogy a gépi számítás megfelelő pontosságú legyen, a műveleti erősítő ún. statikus jellemzőit be kell állítani.

741-es műveleti erősítő esetén a jellemzők beállítását és a kapcsolás gyakorlati megvalósítását összegző erősítő és összegző integrátor üzemmódra az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra

#### Az analóg számítógép vezérlése

Miután megismerkedtünk számítógépünk alapelemeivel, nézzük meg azokat az üzemmódokat, amelyekben a számítógép dolgozni fog.

"PS" (potenciométerek beállítása): a bemenő ellenállások közös földpontra vannak kötve. Ebben az állásban végezzük a potenciométerek beállítását -- kezdeti feltétel és együttható potenciométerek.

"PC" (probléma ellenőrzés): A bemeneti ellenállások rákapcsolódnak az erősítők bemenetére, a kezdeti feltételek rákapcsolódnak az integrátorra, az egyes műveleti elemek kimenetein a feszültségek ellenőrizhetők.

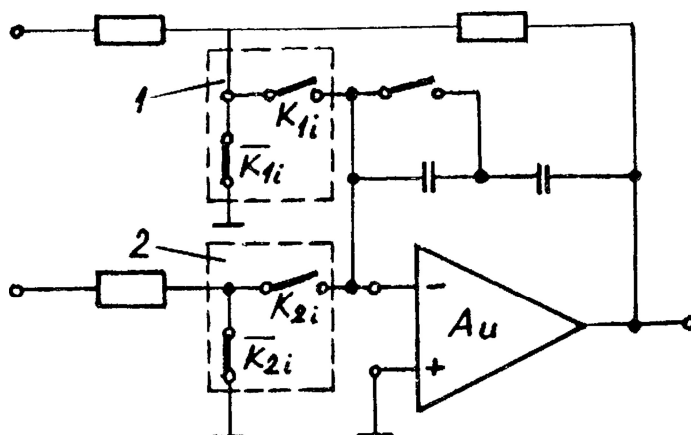
"H" (tartó): ebben az üzemmódban a számítás megállítható, a műveleti elemek kimenetén a kapcsolás pillanatában mérhető feszültségek maradnak.

"C" (számítás): a műveleti erősítők a számításban feltüntetett módon kapcsolódnak össze, az erősítők bemeneti ellenállásai rákapcsolódnak az erősítőre, a kezdeti feltételek lekapcsolódnak az integrátorokról. A számítás mindaddig folyik, amíg a kapcsoló ebben az állásban van.

"REP" (ismétlő): a gép egy meghatározott ideig számol, aztán visszakapcsolódik ellenőrzés üzemmódra.

"S" (külső vezérlés): minden műveleti egység külön-külön vezérelhető a kapuáramkörök segítségével. Az egyedi vezérlés letiltódik, külső egységnek adódik át.

A 6. ábrán az integrátor üzemmódjai és az üzemmódok kapcsolókkal történő megoldását láthatjuk. Az 1 és 2 jelű egységek a vezérlő kapcsolókat jelölik.



6. ábra

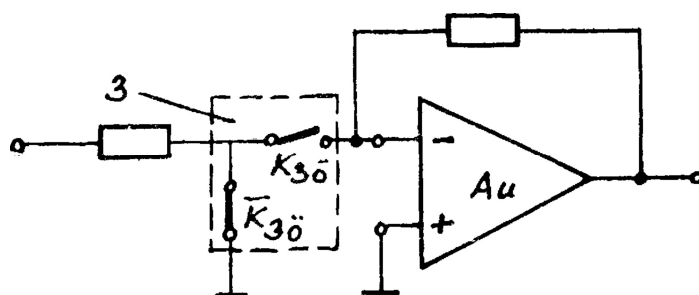
Az ábra alapján az integrátor vezérlési viszonyai:

	$K_{1i}$	$K_{2i}$
kezdeti feltételek beadása	1	0
számítási üzemmód	0	1
tartás üzemmód	0	1

(0 a kikapcsolt; 1 pedig a bekapcsolt állapot logikai értéke).

A következőkben vegyük szemügyre, hogyan vezérelhető az összegző műveleti erősítő.

Ennek vázlata a 7. ábrán látható.

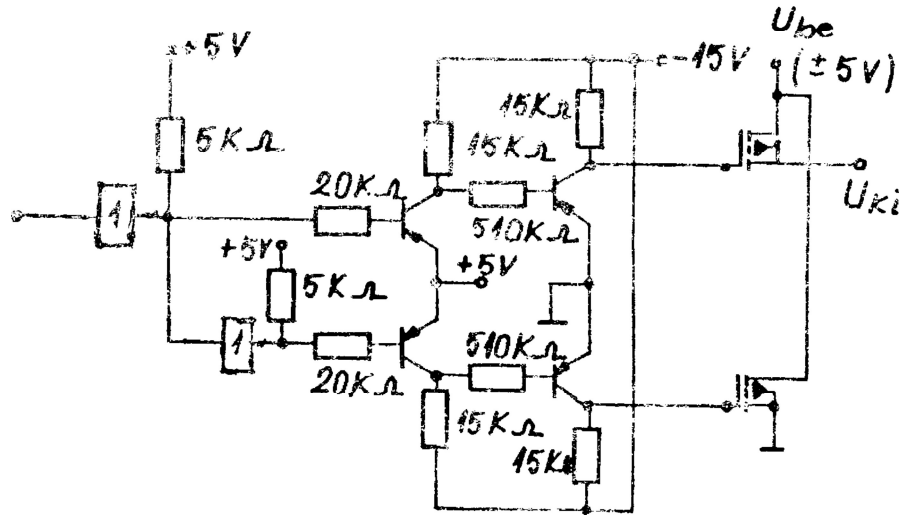


7. ábra

A vezérlés viszonyai pedig a következők:

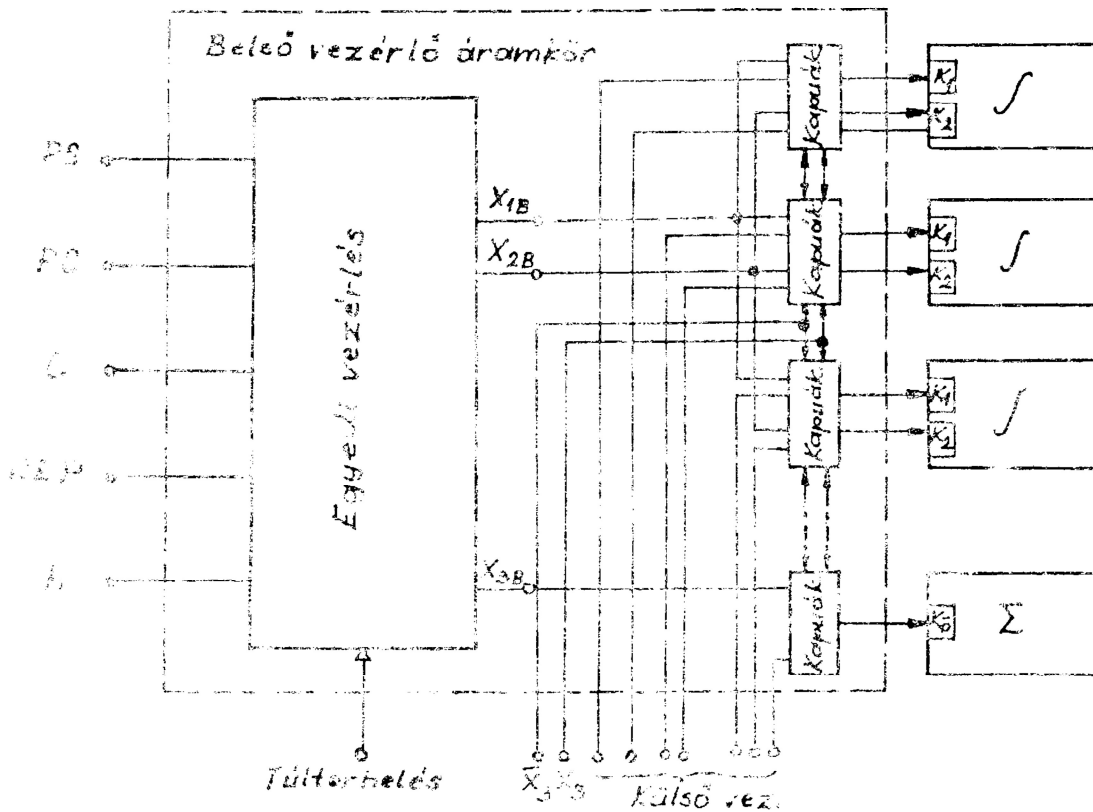
	$K_{3ö}$
Együtthatók beállítása	0
Számítási üzemmód	1
Tartás üzemmód	1

Az integrátorokhoz, illetve az összegzőkhöz közvetlenül kapcsolódik a  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_{\bar{3}}$  jelű kapcsoló egység, amely a 6. és 7. ábra 1, 2, 3 jelű egységének felel meg.



8. ábra

Az elektronikus kapcsoló egység egyik lehetséges megoldását a 8. ábra szemlélteti.



9. ábra

A TTL szintről vezérelt kapcsoló áramkör bemenetére logikai 1-et adva a kimenet és a bemenet zárt kapcsolóként viselkedik, a bemenő feszültség értéke a kimeneten jelenik meg. Logikai 0-ra az áramkör nyitott kapcsolót valósít meg. Az elektronikus kapcsoló működtetését -- mint azt a 9. ábrán látható tömbvázlaton, amely az analóg számítógép felépítését szemlélteti -- kapuáramkörökkel vezéreljük a jobb illesztés miatt. A kapuáramkörök a következő logikai függvényt kell, hogy megvalósítsák (a kapuáramkörök részletezésére itt nem térünk ki, a logikai kifejezések alapján megvalósíthatók):

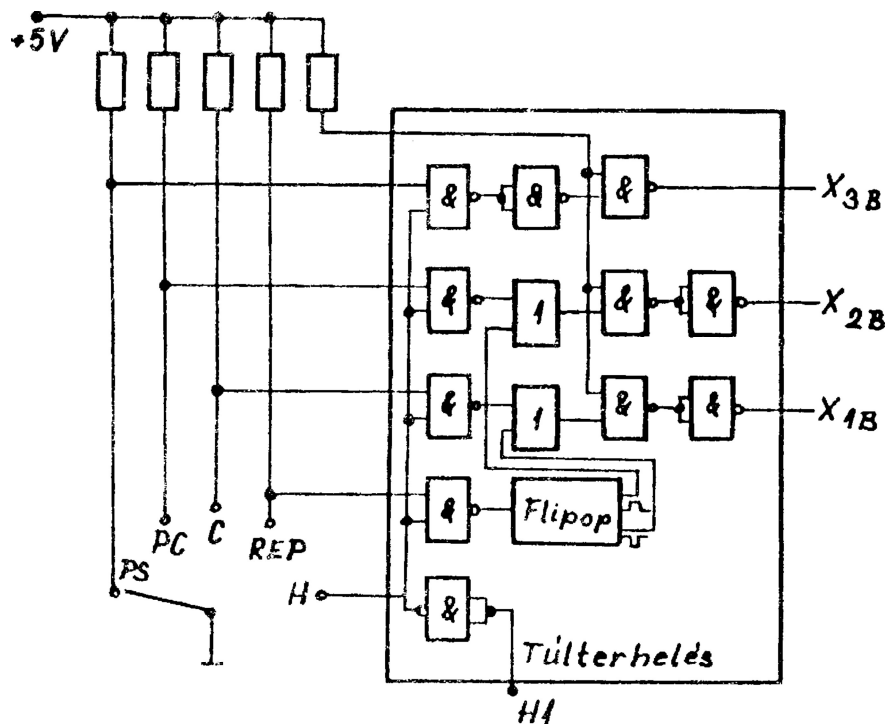
$$X_1' = \overline{X_{1B} \cdot \overline{X_3} + X_{1K} \cdot X_3}$$

$$X_2' = \overline{X_{2B} \cdot \overline{X_3} + X_{2K} \cdot X_3}$$

$$X_3' = \overline{X_{3K} \cdot X_3 + \overline{X_3} \cdot X_{3B}}$$

Az üzemmódkapcsoló által generált jelek --  $X_{1B}$ ,  $X_{2B}$ ,  $X_{3B}$  -- a kapcsolóáramkörök vezérlését biztosítják. Az  $X_3$  és  $\overline{X_3}$  jelek a külső/belső vezérlés átkapcsolását végzik. Ha az  $X_3$  jel logikai 0, akkor a vezérlés közvetlenül a kódolóegységről történik. Ha az  $X_3$  logika 1 értékű, akkor a vezérlés átadódik egy külső egységnek, ami a műveleti egységeket külön-külön vezérli. A külső vezérlést ( $X_{1K}$ ,  $X_{2K}$ ,  $X_{3K}$ ) cél-szerű digitális számítógépről megvalósítani, megfelelő illesztőegység közbeiktatásával.

Az  $X_{1B}$ ,  $X_{2B}$ ,  $X_{3B}$  kapuáramkör-vezérlő jelek előállítását -- az üzemmódkapcsoló jeleinek megfelelően -- a kódoló egység végzi. A logikai egység vázlata a 10. ábrán látható.



10. ábra

A túlterhelés jelzésére pl. egy HI szintű jelet használhatunk. Amint a "Túlterhelés" bemenetre ez a szint kerül az áramkör kimenő jelei a "Tartás" (H) üzemmódnak megfelelően alakulnak. Az ismétlődő üzemmód létrehozására a bemenetek "Számítás" (C) és "Probléma ellenőrzés" (PC) üzemmódnak megfelelően változnak. A két üzemmód belső átkapcsolását pl. duál-monoflop felhasználásával oldhatjuk meg.

#### Az analóg számítógép programozása

Az analóg számítógép programozásán azt a feladatot értjük, amelynek során meghatározzuk a feladat megoldásához szükséges számító elemeket és azok paramétereit, valamint kezdeti feltételeiket, majd az elemeket összekapcsoljuk egymással a számítási folyamatnak megfelelően. A programozási folyamathoz tartozik az idő és feszültség léptékek meghatározása is.

Lineáris, állandó együtthatójú differenciál-egyenletek esetén, ha az egyenlet olyan fizikai jelenséget ír le, amelynek be- és kimenő jelei

feszültségek, még hozzá az analóg számítógéppel is ábrázolható tartományban, s a jelenség időviszonyai is megegyeznek a számítógépben lezajló folyamat időviszonyaival, a differenciálegyenlet közvetlenül programozható.

Ellenkező esetben először el kell végezni az amplitúdó-, illetve időléptékeztést.

A gyakorlatban a Thomson-Kelvin elv segítségével végezzük a számítógép programozását. Az alkalmazott elv lényege, hogy kifejezzük a legmagasabb rendű differenciálhányadost, majd sorozatos integrálást, végzünk a nagy zavarérzékenységű differenciáló elemek elkerülése érdekében.

Változó együtthatójú lineáris differenciálegyenletek leképezése esetén az együtthatók potenciométeres beállítása helyett függvénygenerátorokat és szorzóegységeket kell alkalmaznunk.

Átviteli függvények programozásakor vagy visszavezetjük az átviteli függvényt differenciál egyenletre, vagy közvetlenül programozzuk.

### Analóg számítógépes szimuláció

A szimulációs felhasználás az analóg számítógépek alkalmazásának fő területe. A "leutánzott" fizikai valóság és a megfelelő program szerint összekapcsolt analóg számítógépben lezajló folyamat hasonló egymáshoz, analógiában vannak. A működést leíró differenciálegyenletnek meg kell egyeznie a fizikai rendszerrel, illetve a számítógépnél, de az együtthatók között megengedhető valamilyen lineáris transzformáció. Ezt a transzformációt nevezzük léptékezésnek. Az analóg számítógépek egy-egy pontján kialakuló feszültség értéke analóg a leképzett fizikai valóság meghatározott helyén kialakuló jellemző értékével. Mivel nem minden esetben modellezünk villamos hálózatot, ezért szükség van dimenzió- és legtöbbször amplitúdóváltásra is. A dimenziók és mérőszámok összerendelése az amplitúdóléptékezés feladata.

A legegyszerűbb léptékezési módszer az, amikor a feszültségértéket a maximális értékhez hasonlítjuk és ezt az arányszámot feleltetjük meg a leképezett mennyiség maximuma és tényleges értéke hányadosának. Az időléptékezéshez ismernünk kell a leképezendő fizikai folyamatot és a felhasználni kívánt analóg számítógépet. A valóságos folyamatok egy része az



analóg számítógépekhez képest túl gyorsan (magreakció stb.), mások túl lassan (földmozgások stb.) zajlanak le. A leképezéshez csak a számítógép saját működési időit használhatjuk fel, a gépi időértékeket.

Jelöljük a fizikai rendszerben lezajló jelenség független változóját  $t$ -vel, a számítógépét  $\tau$ -val, a fizikai jelenség teljes időtartamát  $T_M$ -nel, míg a számítási folyamat időtartamát  $\tau_M$ -mel! A felvett mennyiségek között a következő összefüggés érvényes:

$$\frac{t}{T_M} = \frac{\tau}{\tau_M}$$

Ezt az összefüggést felhasználva és a differenciálegyenletnek megfelelően a szükséges átalakításokat elvégezve, az egyenlet közvetlenül számítógépre vihető.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Herpy M. (1973): Analóg integrált áramkörök.  
Műszaki Könyvkiadó Bp.
- Csáki F. - Bars R. (1974): Automatika  
Tankönyvkiadó Bp.
- E. J. Angela (1977): Elektronika (Tranzisztorok és mikroáramkörök).  
Műszaki Könyvkiadó Bp.
- Magyari B. - Lengyel L. (1979): Analóg IC-atlasz.  
Műszaki Könyvkiadó Bp.
- (1976): Félvezetők, integrált áramkörök, optoelektronikai alkalmazásuk.  
Elektromodul Bp.
- Csáki F. (1977): Irányításastechnikai kézikönyv.  
Műszaki Könyvkiadó Bp.